BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2025

PHYSIQUE-CHIMIE

Mercredi 18 juin 2025

Durée de l'épreuve : **3 heures 30**

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.
L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collège », est autorisé.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Ce sujet comporte 14 pages numérotées de 1/14 à 14/14.

L'annexe page 14 est à rendre avec la copie.

Exercice 1 - Mesure de l'épaisseur d'un film alimentaire (11 points)



Les films alimentaires étirables sont des films plastiques souples et transparents utilisés principalement pour conserver les aliments. Ils sont fabriqués en polymères tels que le polyéthylène basse densité (PEBD) et parfois le polychlorure de vinyle (PVC). Ces films offrent une barrière contre l'air, l'humidité et les contaminants, aidant ainsi à prolonger la fraîcheur des aliments et à réduire les déchets alimentaires. L'épaisseur du film est un paramètre essentiel des propriétés mécaniques (élasticité, résistance à la traction) des films étirables, ainsi que de leur impact écologique.

L'objectif de cet exercice est d'étudier différentes méthodes de détermination de l'épaisseur d'un film alimentaire.

1. Mesure de l'épaisseur d'un film alimentaire par capacimétrie

Données :

- un condensateur plan est constitué de deux armatures métalliques, parallèles entre elles, chacune de surface S, séparées par un matériau isolant (papier, plastique) d'épaisseur e ;
- expression littérale de la capacité C d'un tel condensateur :

$$C = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot S}{e}$$

avec : • $\varepsilon_0 = 8{,}85 \times 10^{-12}$ F·m^{-1} : permittivité du vide ;
• ε_r : permittivité relative du matériau isolant ;

- permittivité relative du film alimentaire étudié : $\varepsilon_{r,\,film} = 2{,}3$;
- permittivité relative de l'air : $\varepsilon_{r,\,air} = 1{,}0$;
- épaisseur de référence du film alimentaire : $e_{film,\,ref} = 7{,}6$ µm ;
- pour discuter de l'accord du résultat d'une mesure avec une valeur de référence, on peut utiliser le quotient $\frac{|x - x_{ref}|}{u(x)}$ avec x la valeur mesurée, x_{ref} la valeur de référence et $u(x)$ l'incertitude-type associée à la valeur mesurée x.

On réalise un condensateur plan en intercalant entre deux feuilles de papier aluminium rectangulaires, de dimensions 21 cm × 28 cm, une seule couche du film transparent d'épaisseur e. On note C sa capacité. La figure 1 ci-dessous présente un schéma de ce dispositif.

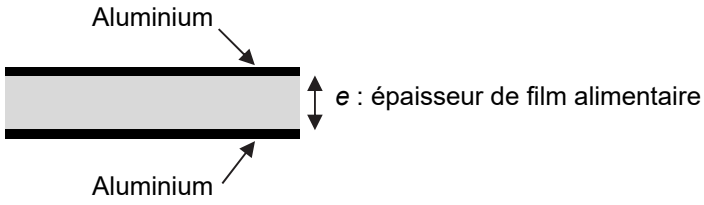


Figure 1. Vue en coupe du condensateur plan

On réalise ensuite le montage, schématisé en figure 2, constitué du condensateur réalisé, d'un conducteur ohmique de résistance R = 1,00 kΩ, d'un interrupteur et d'un générateur idéal délivrant une tension continue E = 4,9 V.

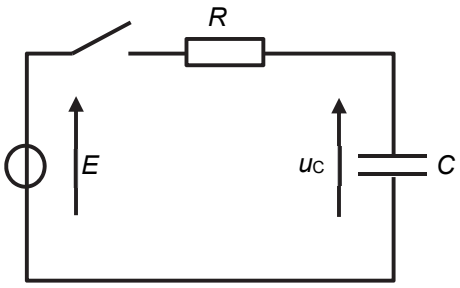


Figure 2. Schéma du montage électrique

On étudie la charge du condensateur à partir de la date $t = 0$, date à laquelle l'interrupteur est fermé. L'évolution temporelle de la tension u_C aux bornes du condensateur est présentée en figure 3.

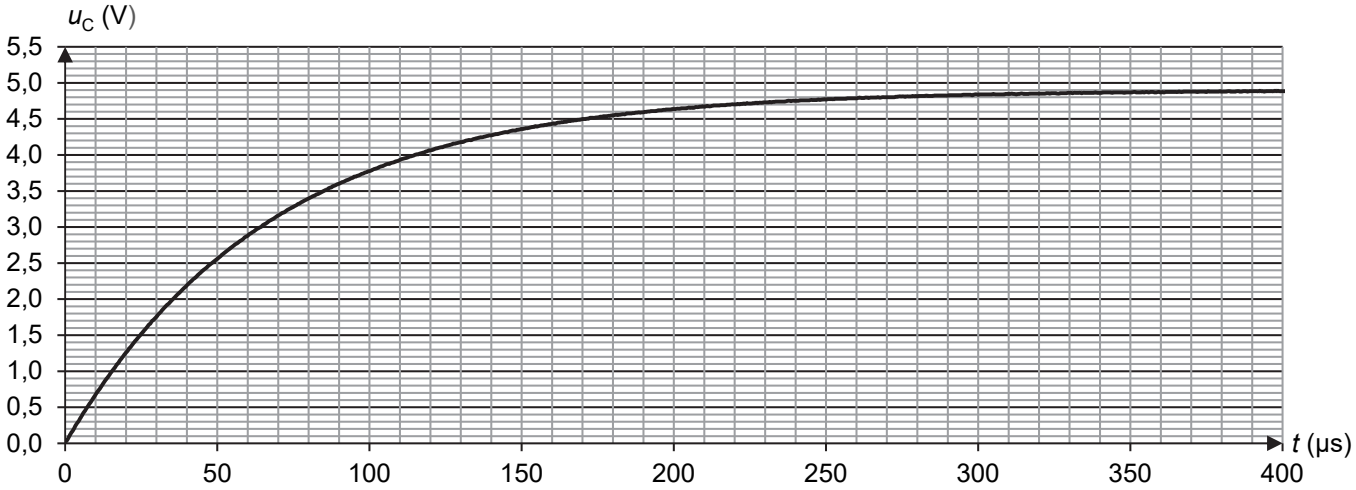


Figure 3. Évolution de la tension aux bornes du condensateur en fonction du temps

Q1. Établir l'équation différentielle ci-dessous vérifiée par la tension u_C aux bornes du condensateur, où τ est le temps caractéristique dont on donnera l'expression :

$$\frac{du_c}{dt} + \frac{1}{\tau}u_c = \frac{E}{\tau}$$

La solution de cette équation différentielle est : $u_c(t) = A \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$ où A est une constante.

Q2. Déterminer l'expression de la constante A.

Q3. Exprimer, en fonction de E, la tension $u_c(\tau)$ aux bornes du condensateur à la date $t = \tau$.

Q4. Exploiter la courbe de la figure 3 et le résultat obtenu à la question **Q3** pour déterminer la valeur de la constante de temps τ du circuit. Expliciter la démarche utilisée.

Q5. En déduire une valeur expérimentale de la capacité C du condensateur.

Des mesures complémentaires répétées ont permis de déterminer une valeur moyenne de la capacité du condensateur : $C = 69{,}8$ nF.

Q6. Déterminer la valeur de l'épaisseur e_{film} du film alimentaire déduite de cette valeur moyenne.

Avec cette méthode, l'incertitude-type sur l'épaisseur du film a pour valeur : $u(e_{film}) = 1{,}0$ µm.

Q7. Discuter de l'accord du résultat obtenu à la question **Q6** avec la valeur de l'épaisseur de référence du film indiquée dans les données.

Pour expliquer l'écart observé, on peut faire l'hypothèse qu'il existe entre les feuilles d'aluminium, en plus de l'épaisseur du film alimentaire, une fine couche d'air d'épaisseur e_{air} constante. La situation est alors schématisée sur la figure 4 ci-dessous.

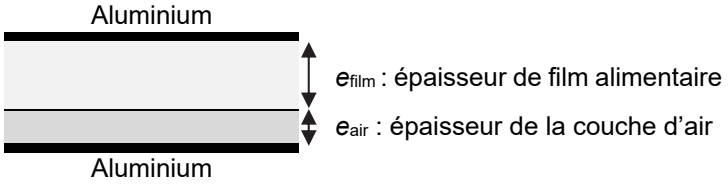


Figure 4. Couche d'air piégée dans le condensateur

On montre que la capacité C' d'un condensateur, dans le cas où le condensateur comprend une épaisseur d'air e_{air} et une épaisseur de film e_{film}, est donnée par la relation :

$$C' = \frac{\varepsilon_0 \cdot S}{\frac{e_{air}}{\varepsilon_{r,\,air}} + \frac{e_{film}}{\varepsilon_{r,\,film}}}$$

Q8. En envisageant deux cas limites au schéma présenté en figure 4, vérifier que l'expression donnée ci-dessus est compatible avec l'expression littérale de la capacité d'un condensateur précisée dans les données.

Q9. Dans ce modèle, déterminer la valeur d'épaisseur d'air e_{air} en considérant que l'épaisseur du film alimentaire est celle de référence : $e_{film,ref}$ = 7,6 µm. Commenter.

2. Mesure de l'épaisseur du film alimentaire par pesée

Données :

- dimensions du film alimentaire indiquées sur l'emballage : largeur ℓ = 29 cm et longueur L = 30 m ;
- masse volumique du polymère constituant le film alimentaire : ρ_{film} = 1,25×10^3 kg.m^{-3}.

Afin d'estimer un ordre de grandeur de l'épaisseur du film alimentaire, on mesure la masse de film d'un rouleau neuf : m_{film} = 70,56 g.

Q10. Calculer l'épaisseur e_{film} du film alimentaire dans le rouleau.

3. Mesure de l'épaisseur du film alimentaire par interférométrie

Dans le but d'obtenir une mesure plus exacte de l'épaisseur du film alimentaire, on utilise une méthode interférométrique dans laquelle on éclaire le film avec une source lumineuse comme indiqué sur la figure 5 ci-dessous.

On ne s'intéresse dans cette étude qu'à deux rayons lumineux ① et ② issus d'un même rayon incident, comme représenté sur la figure 5 :

- rayon ① : rayon issu du rayon incident qui est réfléchi sur la surface supérieure du film alimentaire ;
- rayon ② : rayon issu du rayon incident qui est transmis dans le film puis réfléchi par la surface inférieure du film et qui ressort par la surface supérieure du film.

Les rayons ① et ② sont parallèles entre eux. Grâce à une lentille, ils se superposent à l'entrée d'une fibre optique, elle-même reliée à un spectromètre.

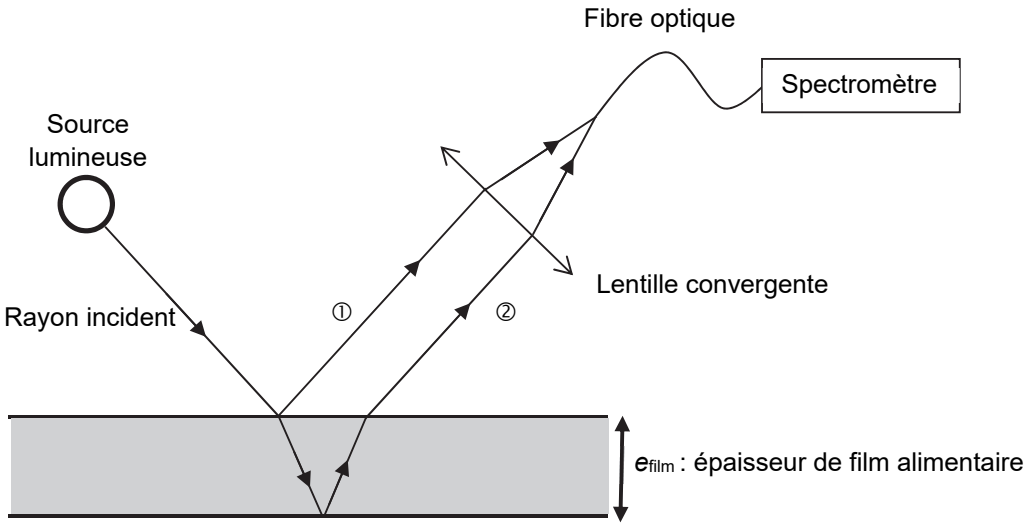


Figure 5. Dispositif expérimental

Pour une source monochromatique de longueur d'onde λ, la superposition des deux ondes associées aux rayons ① et ② donne lieu à des interférences. On note δ la différence de chemin optique entre les deux ondes.

Q11. Préciser la relation entre δ et λ permettant d'obtenir des interférences constructives.

L'ordre d'interférence p est, dans le cas général, défini comme le rapport $p = \frac{\delta}{\lambda}$. On admet que, dans les conditions de l'expérience, l'ordre d'interférence p est donné par la relation suivante :

$$p = \frac{\beta \times e_{film}}{\lambda} + \frac{1}{2} \qquad \text{relation 1}$$

où β est un paramètre sans dimension dépendant de l'indice de réfraction du film et de l'angle d'incidence de la lumière sur le film.

Q12. Préciser, en justifiant sans calcul, le phénomène observé lorsque le rapport $\frac{\beta \times e_{film}}{\lambda}$ est un nombre entier.

Dans l'expérience étudiée, le film est éclairé en lumière blanche et on analyse le spectre de la lumière transportée par la fibre. On donne ci-dessous sur la figure 6a le spectre de la lumière incidente et sur la figure 6b celui de la lumière captée par la fibre optique.

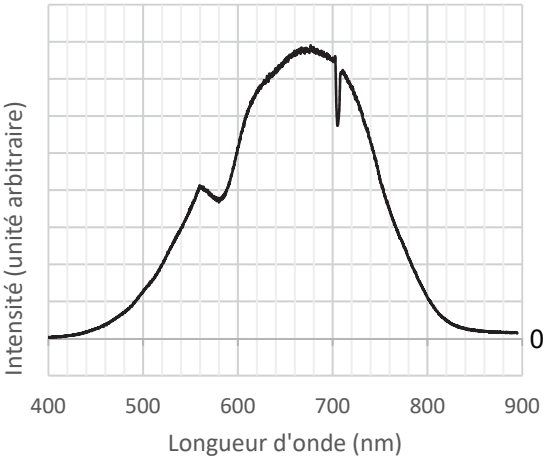


Figure 6a. Spectre de la lumière incidente

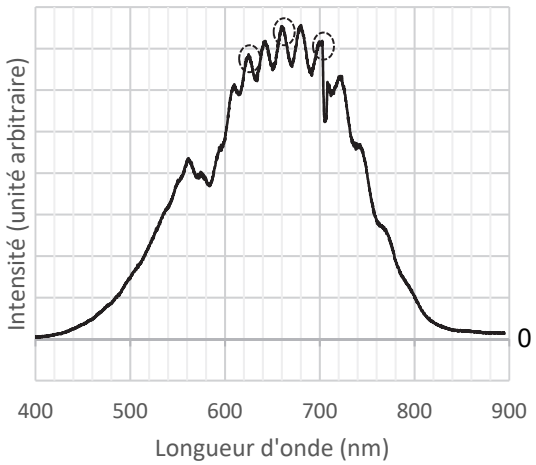


Figure 6b. Spectre de la lumière captée par la fibre optique

Q13. Le spectre de la figure 6b présente des maxima d'intensité dont certains sont entourés en pointillés. Expliquer leur origine.

L'analyse de la figure 6b permet de représenter l'évolution de l'ordre d'interférence en fonction de l'inverse de la longueur d'onde. Les résultats obtenus et leur modélisation sont représentés sur la figure 7.

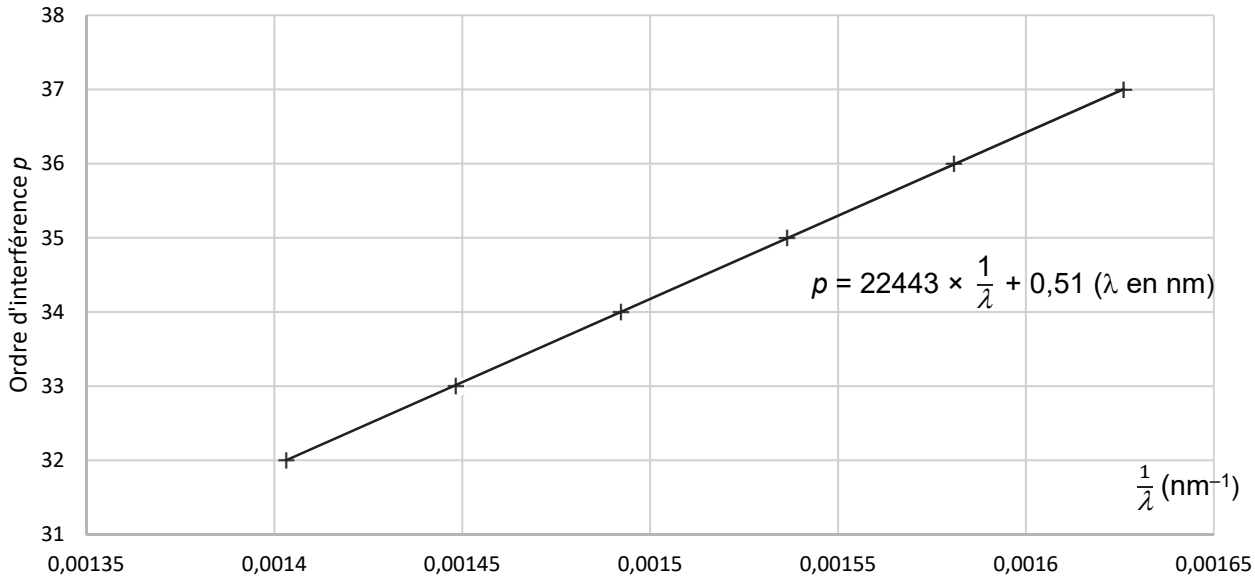


Figure 7. Représentation graphique de l'ordre d'interférence p en fonction de $\frac{1}{\lambda}$

Q14. Indiquer, en justifiant, si les résultats expérimentaux sont cohérents avec la relation 1.

Q15. Déduire de ces mesures la valeur de l'épaisseur e_{film} du film alimentaire, sachant que, dans les conditions de l'expérience, $\beta = 3{,}02$. Commenter.

Exercice 2 - Eau de Quinton (4 points)

René Quinton, biologiste français, a découvert et mis au point le sérum qui porte son nom : l'eau de Quinton. Issue d'un prélèvement d'eau de mer, celle-ci est ensuite filtrée pour en éliminer les impuretés. Elle est actuellement commercialisée, notamment sous forme d'ampoules pour, par exemple, nettoyer le nez ou les yeux.



L'objectif de cet exercice est de déterminer la teneur en ions chlorure d'une eau de Quinton commerciale provenant d'une mer bretonne, à l'aide d'un titrage suivi par conductimétrie.

Données :

- conductivités molaires ioniques à 25 °C :

ion	$C\ell^-$	Ag^+	NO_3^-	Na^+
λ $(S{\cdot}m^2{\cdot}mol^{-1})$	$7{,}63\times10^{-3}$	$6{,}19\times10^{-3}$	$7{,}14\times10^{-3}$	$5{,}01\times10^{-3}$

- masse molaire atomique de l'élément chlore : $M(C\ell) = 35{,}5\ g{\cdot}mol^{-1}$;
- concentration moyenne en masse en ions chlorure d'une eau de mer bretonne : $19{,}4\ g{\cdot}L^{-1}$;
- la concentration en ions chlorure dans le sang est comprise entre 100 et 110 $mmol{\cdot}L^{-1}$;
- pour discuter de l'accord du résultat d'une mesure avec une valeur de référence, on peut utiliser le quotient $\frac{|\,x - x_{ref}\,|}{u(x)}$ avec x la valeur mesurée, x_{ref} la valeur de référence et $u(x)$ l'incertitude-type associée à la valeur mesurée x.

Dans le contexte de cet exercice, on peut qualifier une eau de Quinton d'isotonique si sa concentration en ions chlorure est dans l'intervalle des valeurs de celles du sang, d'hypertonique si elle est supérieure à 110 $mmol{\cdot}L^{-1}$ et d'hypotonique si elle est inférieure à 100 $mmol{\cdot}L^{-1}$.

1. Préparation de l'eau de Quinton isotonique

Une eau de Quinton isotonique est préparée en diluant 5 fois l'eau de Quinton commerciale hypertonique étudiée.

Q1. Proposer un protocole permettant de préparer 100,0 mL d'eau de Quinton isotonique à partir d'eau de Quinton commerciale. Nommer, en précisant les volumes, la verrerie utilisée.

Q2. Vérifier le caractère isotonique de la solution ainsi préparée.

2. Analyse d'une eau de Quinton hypertonique

On assimile l'eau de Quinton hypertonique étudiée à une solution aqueuse de chlorure de sodium ($Na^+(aq)$; $C\ell^-(aq)$). Afin d'en déterminer la concentration en ions chlorure, on réalise un titrage suivi par conductimétrie.

À l'aide d'une pipette jaugée, on prélève un volume $V_1 = 10{,}0$ mL d'eau de Quinton hypertonique que l'on introduit dans un bécher, dans lequel on ajoute 200 mL d'eau distillée.

On dose la solution obtenue par une solution titrante de nitrate d'argent ($Ag^+(aq)$; $NO_3^-(aq)$) de concentration $C_2 = 3{,}00\times10^{-1}\ mol{\cdot}L^{-1}$. Les ions argent forment avec les ions chlorure un précipité de chlorure d'argent $AgC\ell(s)$. Cette réaction de précipitation peut être considérée comme totale.

Q3. Écrire l'équation de la réaction modélisant la transformation mise en jeu au cours du titrage.

On utilise le langage de programmation Python pour simuler et représenter l'évolution des concentrations des espèces qui participent à la conductivité de la solution titrée en fonction du volume de solution titrante versé. On néglige la dilution liée à l'ajout de la solution titrante.

Dans ce programme, on utilise les notations suivantes :

- `C_1` : concentration de la solution titrée exprimée en mol·L^{-1} ;
- `V_1` : volume de solution titrée exprimé en L ;
- `C_2` : concentration de la solution titrante exprimée en mol·L^{-1} ;
- `V_2` : volume de solution titrante versé exprimé en L.

On fournit sur la figure 1 un extrait du programme et sur la figure 2 le résultat de la simulation obtenu.

```
8     # Déclaration des variables
9
10    c_A = []          # Concentration de l'espèce A
11    c_B = []          # Concentration de l'espèce B
12    c_C = []          # Concentration de l'espèce C
13    c_D = []          # Concentration de l'espèce D
14
15    V_E =             # Expression du volume équivalent exprimé en L
```

Figure 1. Extrait du programme

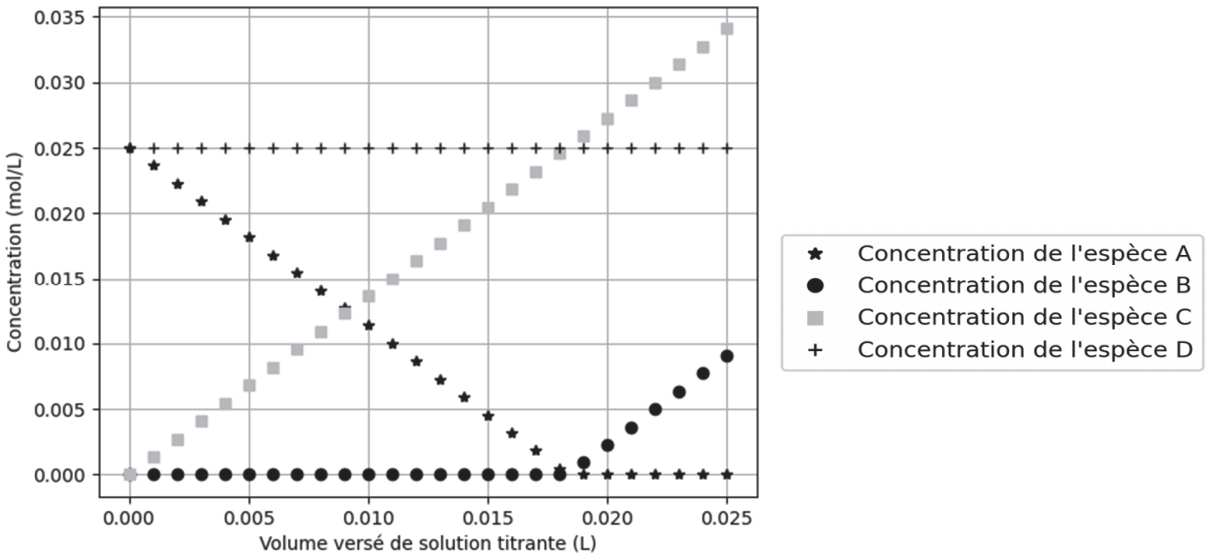


Figure 2. Évolution des concentrations en fonction du volume de solution titrante versé

Q4. Identifier, en justifiant, les espèces A, B, C et D parmi Na^+, $C\ell^-$, NO_3^- et Ag^+.

Q5. Donner l'expression de la ligne 15 du programme Python permettant de calculer la valeur du volume à l'équivalence, noté `V_E`, en fonction de `C_1`, `C_2` et `V_1`.

On a reporté sur la figure A1 de l'**ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE** l'évolution de la conductivité σ en fonction du volume V_2 de solution de nitrate d'argent versé.

Q6. En utilisant les résultats de la simulation de la figure 2, expliquer l'évolution de la conductivité mesurée au cours du dosage.

Q7. Exploiter les résultats expérimentaux pour déterminer la concentration en masse $C_{Quinton}$ des ions chlorure dans l'eau de Quinton.

L'incertitude-type $u(C_{Quinton})$ associée à la valeur de la concentration en masse trouvée précédemment est, dans cette situation :

$$u(C_{Quinton}) = C_{Quinton} \times \sqrt{\left(\frac{u(V_1)}{V_1}\right)^2 + \left(\frac{u(V_E)}{V_E}\right)^2 + \left(\frac{u(C_2)}{C_2}\right)^2}$$

avec $u(V_E) = 0{,}5$ mL, $u(V_1) = 0{,}02$ mL et $u(C_2) = 2 \times 10^{-3}$ mol·L^{-1}.

Q8. Vérifier si la concentration trouvée est en accord avec la concentration en ions chlorure de l'eau de mer bretonne.

Exercice 3 - Un parfum de rose (5 points)



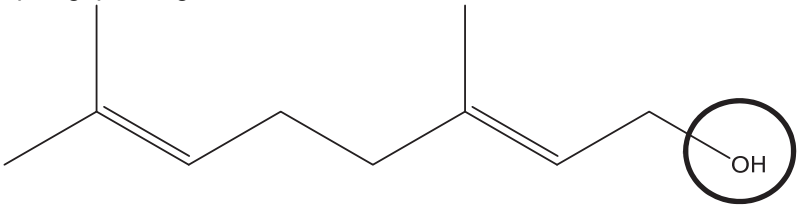
Utilisés en parfumerie, le géraniol et l'éthanoate de géranyle sont deux espèces chimiques à l'odeur florale et fruitée naturellement présentes dans les huiles essentielles de rose, de palmarosa ou encore de citronnelle.

Si le géraniol peut être extrait en grande quantité dans la nature, cela n'est pas le cas de l'éthanoate de géranyle qui doit être synthétisé en laboratoire.

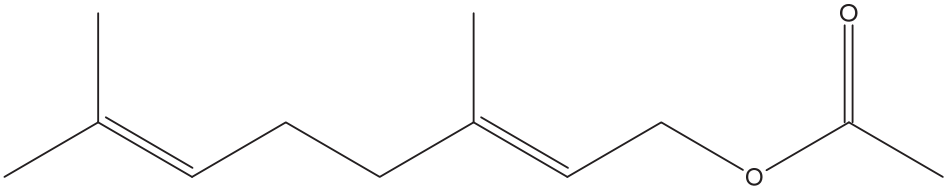
L'objectif de cet exercice est d'étudier quelques propriétés du géraniol et son utilisation dans la synthèse de l'éthanoate de géranyle.

Données :

- représentation topologique du géraniol, noté G :



- représentation topologique de l'éthanoate de géranyle, noté EG :



- table de données de spectroscopie infrarouge :

Liaisons	Nombre d'onde (cm^{-1})	Intensité
O – H alcool	3 200 – 3 700	Forte
O – H acide carboxylique	2 500 – 3 200	Forte et très large
C – H	2 800 – 3 300	Moyenne et fine
C = O	1 700 – 1 800	Forte et fine

- masse molaire du géraniol : M_G = 154,25 $g \cdot mol^{-1}$;
- masse molaire de l'éthanoate de géranyle : M_{EG} = 196,29 $g \cdot mol^{-1}$;
- ordre de grandeur de la densité d'une solution aqueuse d'acide éthanoïque : d_A = 1,0 ;
- densité du géraniol : d_G = 0,89 ;
- densité de l'éthanoate de géranyle : d_{EG} = 0,92.

1. Étude préliminaire

Q1. Nommer le groupe caractéristique entouré sur la représentation topologique du géraniol. Identifier les familles chimiques auxquelles appartiennent le géraniol et l'éthanoate de géranyle.

Q2. Attribuer, en justifiant, le spectre infrarouge représenté sur la figure 1 ci-après à la bonne espèce chimique parmi le géraniol et l'éthanoate de géranyle.

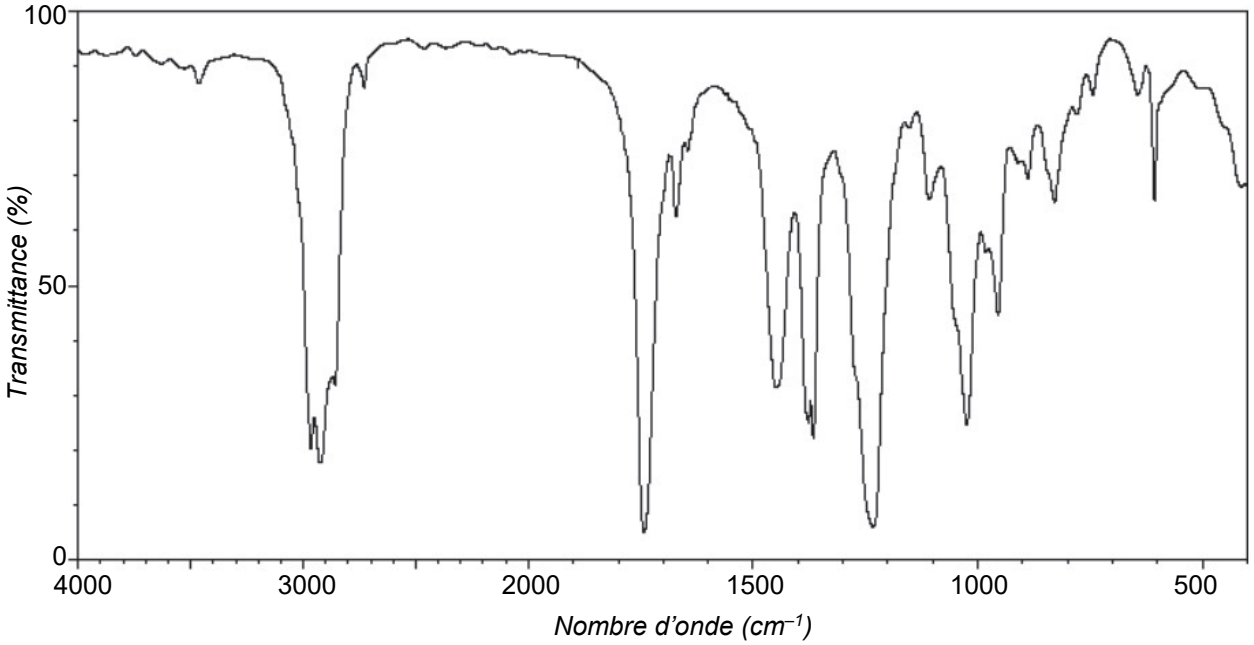


Figure 1. Spectre infrarouge

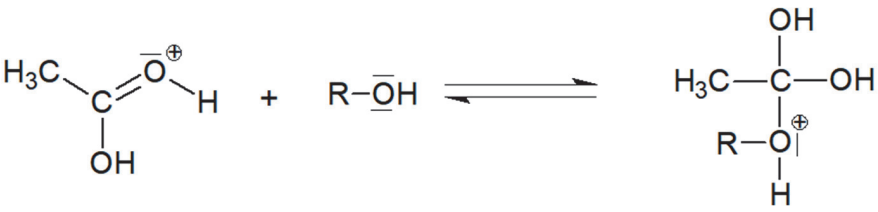
2. Transformation du géraniol en éthanoate de géranyle

L'éthanoate de géranyle peut être synthétisé en faisant réagir du géraniol avec de l'acide éthanoïque CH_3CO_2H. Cette transformation chimique, appelée estérification, est lente et non totale. Les étapes du mécanisme réactionnel de cette estérification sont données ci-dessous. Afin de simplifier les écritures, le géraniol est dorénavant noté R–OH et l'éthanoate de géranyle est dorénavant noté $CH_3COO–R$ dans toute la suite de l'exercice.

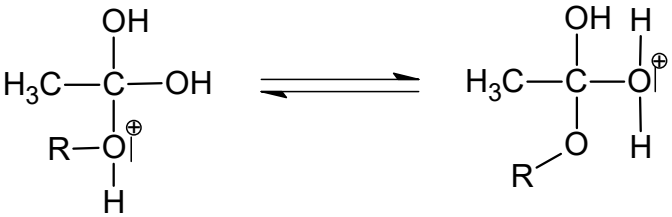
Étape 1 :



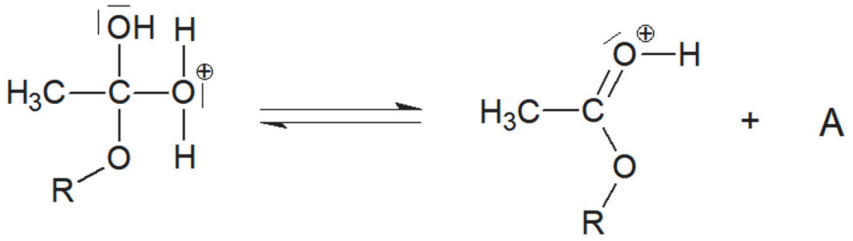
Étape 2 :



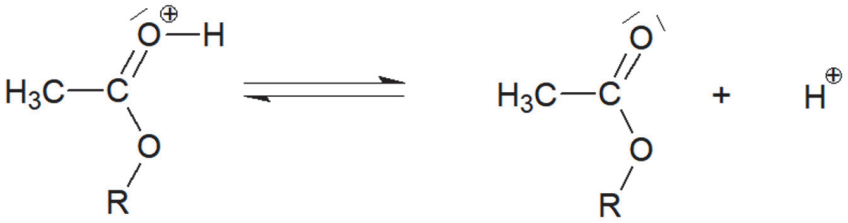
Étape 3 :



Étape 4 :



Étape 5 :



Q3. Rappeler la définition d'un catalyseur puis identifier, en justifiant, l'espèce chimique qui catalyse la réaction d'estérification.

Q4. Représenter sur la figure A2 de l'**ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**, les flèches courbes expliquant la formation et/ou la rupture des liaisons mises en jeu lors des étapes 1, 2 et 5.

Q5. Donner la formule brute de l'espèce chimique notée A dans l'étape 4 puis écrire l'équation de la réaction d'estérification entre le géraniol et l'acide éthanoïque.

La synthèse de l'éthanoate de géranyle est réalisée en laboratoire avec le protocole expérimental suivant :

- dans un erlenmeyer, surmonté d'un réfrigérant à air, introduire un volume V_A = 50 mL d'une solution aqueuse d'acide éthanoïque à la concentration C_A = 1,0 mol·L^{-1} ainsi qu'une masse m_G = 7,7 g de géraniol pur ;
- ajouter deux gouttes d'acide sulfurique concentré (quantité négligeable devant la quantité d'acide éthanoïque introduit dans l'étape précédente) ;
- chauffer à 55 °C au bain-marie pendant deux heures ;
- verser le mélange refroidi dans une ampoule à décanter et séparer la phase aqueuse, qui contient l'acide éthanoïque restant, de la phase organique, qui contient l'éthanoate de géranyle synthétisé et le géraniol restant.

Q6. Indiquer l'intérêt de chauffer le mélange.

Q7. Indiquer, en justifiant, la position relative et le contenu des phases dans l'ampoule à décanter.

Q8. Vérifier par le calcul que l'acide éthanoïque et le géraniol sont introduits dans les proportions stœchiométriques.

Pour déterminer la quantité d'éthanoate de géranyle formée, on dose l'acide éthanoïque restant dans la phase aqueuse à l'aide d'une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium à la concentration C_B = 1,0 mol·L^{-1}. Le titrage est suivi par pH-métrie et la courbe obtenue est représentée sur la figure 2.

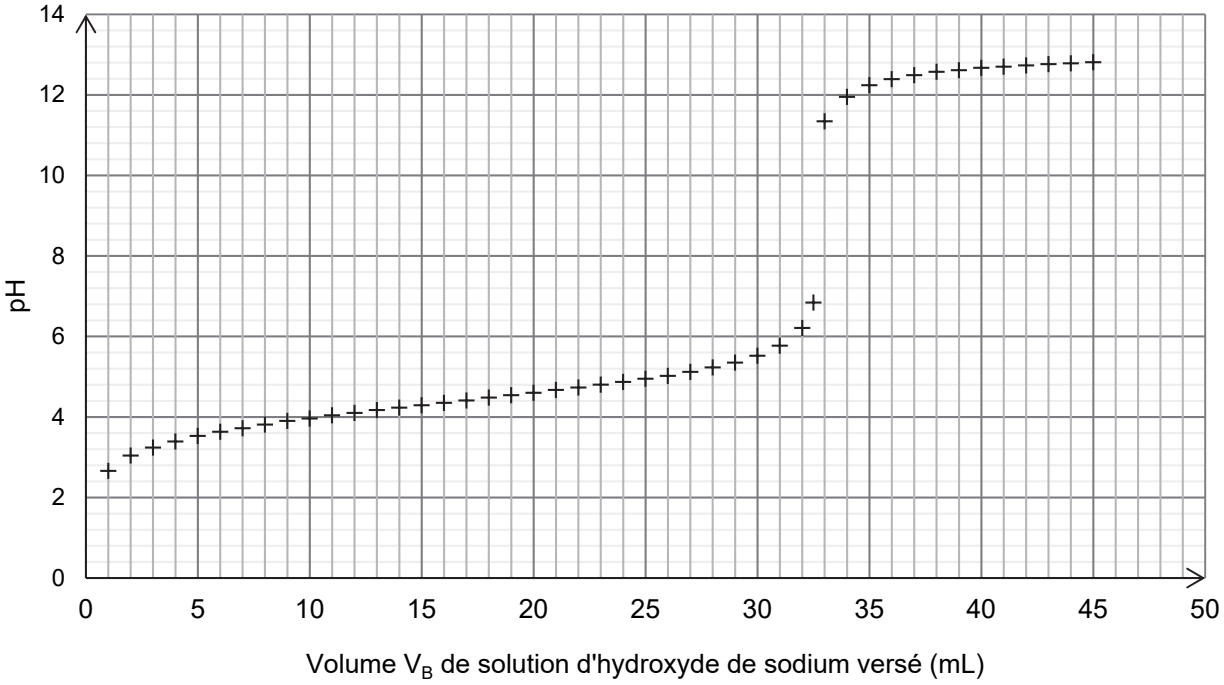


Figure 2. Courbe de titrage de l'acide éthanoïque restant par une solution d'hydroxyde de sodium

Q9. Écrire l'équation de la réaction support du titrage puis, à l'aide de la courbe de titrage, déterminer, en explicitant la démarche, la quantité de matière d'acide éthanoïque restant dans le milieu réactionnel après deux heures de chauffage.

Q10. Déterminer le rendement η de la réaction d'estérification.

3. Utilisation du géraniol en parfumerie

Le géraniol fait partie des substances allergènes que l'on retrouve dans les parfums. Une personne peut être exposée sans risque à une dose de géraniol inférieure à 17,75 mg par kg de masse corporelle.

Les informations suivantes sont recueillies sur l'étiquette d'un parfum vendu dans le commerce :

- le parfum contient 0,001 % en masse de géraniol ;
- une pulvérisation contient 0,15 mL de parfum ;
- la densité du parfum est d = 0,84.

Q11. Déterminer le nombre maximal de pulvérisations d'un parfum qu'une personne, de masse 65 kg, peut effectuer sans se mettre en danger. Commenter.

Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti. La démarche est évaluée et nécessite d'être correctement présentée.

Page blanche laissée intentionnellement.

Ne rien inscrire dessus.

ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE

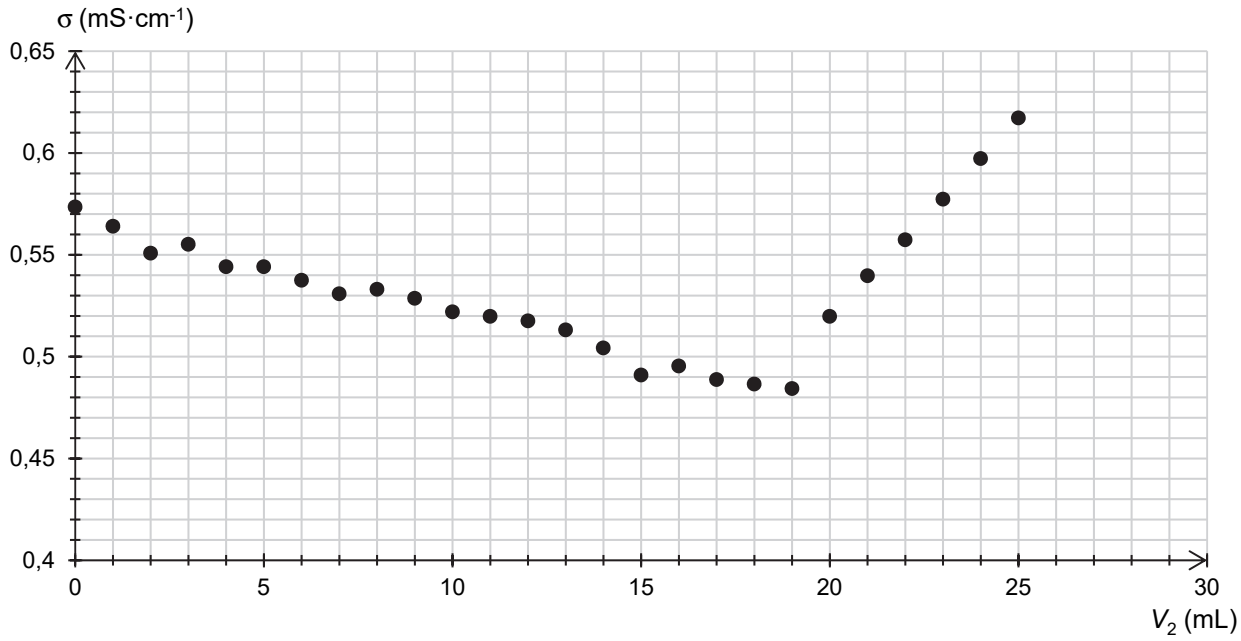
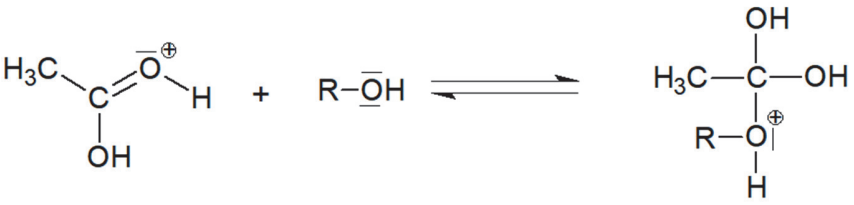


Figure A1. Évolution de la conductivité σ au cours du dosage
en fonction du volume de solution de nitrate d'argent versé

Étape 1 :



Étape 2 :



Étape 5 :

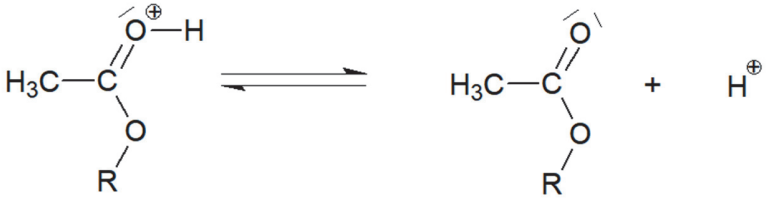


Figure A2. Extraits du mécanisme réactionnel
de la synthèse de l'éthanoate de géranyle

Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) : *(en majuscules)*

PRENOM : *(en majuscules)*

N° candidat :

N° d'inscription :

(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

Liberté · Égalité · Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : / /

1.2